

УДК 681.325

А.Г. Лукашенко, канд. техн. наук, докторант, В.Д. Шелягін, ст. наук. сп., канд. техн. наук, Д.А. Лукашенко, асп.

ІЕЗ ім. Є.О. Патона, Київ

І.А. Зубко, магістрант, О.Ю. Талімончук

Черкаський державний технологічний університет

Системний аналіз параметрів датчиків положення стику зварювальних деталей для лазерних технологічних комплексів

Процес зварювання є найбільш розповсюдженим процесом для з'єднання металоконструкцій. Перспективною є лазерна зварка. Автоматизація зварювальних процесів передбачає використання надійних і високоточних датчиків взаємного розміщення зварювальної головки і заданого зварюваного стику. Проводиться системний аналіз параметрів сучасних датчиків положення стику деталей в лазерних технологічних комплексах. Розглянуті їх основні особливості принципів побудови. Для подальшого їх вдосконалення і впровадження акцентовано увагу на недоліки та переваги.

системний аналіз, датчики, положення стику, лазерна зварка, автоматизовані системи, лазерні технологічні комплекси

Вступ. Актуальність теми

На даний час в промисловості процес зварювання є найбільш ефективним процесом завдяки надійному з'єднанню металоконструкцій. Перспективним є лазерний процес зварки з автоматизованою системою керування, що забезпечує високу експлуатаційну технологічність виробу [1-3].

Дійсно, лазерний пучок має високу концентрацію енергії (до 10^8 Вт/см²), завдяки можливості фокусування його в точку діаметром майже одиниці мікрометрів. Пляма нагріву дуже мала, при великій глибині проплавлення, і як наслідок, малі деформації зварюваних деталей, висока точність та якість зварюваного стику. Лазерний пучок легко транспортується по поверхні деталі по будь-якій траєкторії. На промінь не впливають магнітні поля, лазерна зварка не потребує вакууму, це спрощує технологічні процеси, відсутнє рентгенівське випромінювання, можлива зварка магнітних матеріалів. Процес зварювання безконтактний - можлива зварка в важкодоступних місцях, проведення зварки через прозорі матеріали, в рідинних середовищах. Зварка лазером дешевше, ніж зварка електронним випромінюванням.

Крім того, підвищенню надійності системи «людина – машина» сприяє процес автоматизації з'єднання деталей, завдяки відсутності впливу людського фактора. Тому високопродуктивним лазерним технологічним комплексам (ЛТК) посвячено багато робіт [1-5].

Шляхом аналізу цих робіт по автоматизованим системам керування процесом зварювання встановлено, що підвищення надійності компонентів вбудованих підсистем приводить до адекватного підвищення ефективності функціонуючих в реальному часі високопродуктивних ЛТК.

Відомо, що одним із найбільш вагомих компонентів автоматизованих систем керування процесом зварювання є датчики положення стику зварювальних деталей [6, 7, 8]. Датчики виконують функцію перетворення інформації з тієї форми в якій вона по-

ступає на підсистему керування в форму доступну для відображення, обробки та збереження.

Загальною інформаційною та теоретичною базою проведених досліджень є роботи вітчизняних та зарубіжних науковців: Ж. Аш, Є.С. Левшина, П.В. Новицького, Т. Окосі, А.Ф. Котюха та ін., але питанням швидкого вибору ефективних датчиків та високонадійних вбудованих компонентів для підсистем керування в ЛТК виділено недостатньо уваги.

Отже, системний аналіз сучасних датчиків положення стику зварюваних деталей, а також визначення високонадійних вбудованих компонентів підсистем керування процесом зварювання при застосуванні лазерних технологій є задача своєчасна і актуальна.

1. Постановка задачі

Враховуючи, що для підвищення надійності вже на етапі проектування використовуються наступні методи: спрощення схем, використання більш надійних компонентів, використання інтегральних схем високого ступеня інтеграції, створення завадостійких схем, полегшення ремонту та інші [9], ставляться наступні дві задачі:

1 - визначити найкращий тип моделі датчика положення стику зварювальних деталей на підставі системного аналізу якісних параметрів сучасних датчиків;

2 - запропонувати високонадійну модель датчика з вбудованими пристроями, що забезпечують зчитування та передачу інформації для подальшої обробки її у підсистемах керування в ЛТК.

2. Основна частина

Для одержання якісного з'єднання деталей обов'язкове співпадання траєкторії руху зварювального інструменту з лінією стику. В системах стеження за цим співпаданням використовують датчики.

При цьому правильний вибір датчиків сприяє значному покращенню якості системи вцілому. По принципу дії датчики класифікуються на:

- копірні (контактні);
- фотоелектричні;
- телевізійні;
- електромагнітні;
- дугові;
- теплові;
- пневматичні;
- ультразвукові;
- зондуючі лазерні датчики;
- лазерні оптико-акустичні дефектоскопи;
- датчики відбитого від поверхні зварювальної ванни лазерного проміння;
- відеосенсорні пристрої лінійного (одномірного) та матричного двомірного типу.
- датчики пароплазмового факела та інші.

До недоліків контактних датчиків відносять низьку надійність і точність, можливість механічних пошкоджень, обмеження при застосуванні їх у важкодоступних місцях.

Із групи безконтактних слідкуючих датчиків, робота яких заснована на оптичних принципах, в якості елементів оптичних датчиків використовують напівпровідникові пристрої. Основні особливості датчиків положення стику деталей, що використовуються в лазерних технологічних комплексах більш детально приведені в таблиці 1.

Системний аналіз існуючих датчиків показав, що при зварюванні за допомогою лазерного променя до найбільш розповсюджених та ефективних слід віднести:

- датчики відбитого від поверхні зварювальної ванни лазерного проміння;
- зонduючий лазерний датчик;
- лазерний оптико-акустичний дефектоскоп.

Широкого застосування набули датчики на основі ПЗС-матриць, або ПЗС-лінійок тому, що вони забезпечують:

- безінерційність;
- відсутність викривлень геометричної форми об'єкта,
- високу механічну міцність,
- стійкість до вібрації,
- низьку напругу живлення й енергію споживання,
- компактність,
- малу масу та габарити.

Для скануючого пристрою вибір базової ІС на підставі евристичного методу проводився із групи аналогів:

1 - DG506, 2 - AV6-4016, 3 - K1104KH1, 4 - B1110KH1-2, 5 - 733KH1-2, 6 - K591KH3, 7 - K590KH6, 8 - H1506A-2.

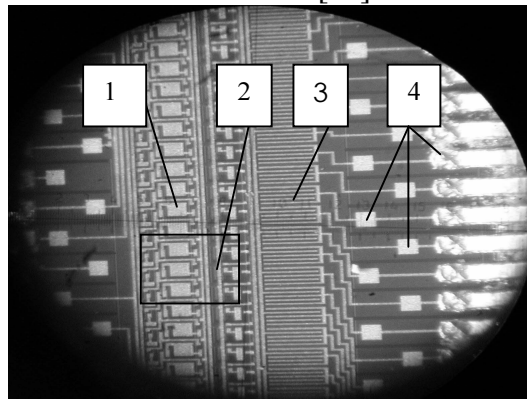
В якості вбудованих елементів для зчитування та подальшої передачі інформації пропонується скануючий пристрій на основі ІС B1110KH1-2 [12].

Відмінними рисами даної ІС є:

- малі габарити розміром 3x6x0,4 мм;
- мала потужність споживання (0,1 мВт при T=308K);
- багатоканальність (32 канали);
- можливість нарощування каналів в n разів (32 n -каналів);
- наявність на кристалі передпідсилювача.

При цьому за рахунок схемотехнічного рішення потужність споживання не збільшується тому, що в процесі зчитування інформації працює тільки один канал.

В результаті вибору скануючий пристрій, топологічний вигляд якого зображений на рис. 1, побудований на базі ІС B1110KH1-2 [12].



1-бутстрепна ємність; 2-ячейка керування; 3-МДП ключ; 4-площадка контакта

Рисунок 1 – Топологія багатоканального скануючого пристрою

Крім того, дослідження по виявленню резерву в ІС B1110KH1-2 на основі теорії неповної подібності та розмірності показало можливість застосування принципу авто-моделювання.

Відомо, що теорія подібності дозволяє виконувати моделювання з одним і тим же приладом. При цьому прилад з одними значеннями параметрів являється моделлю, а з іншими – оригіналом. Таке моделювання носить назву автомоделювання.

Таблиця 1 - Основні особливості датчиків положення стику деталей в лазерних технологічних комплексах

Тип датчика	Принцип дії й метод вимірювання відхилення стику від заданої траєкторії	Перевага	Недолік
Фотоелектричні датчики (ФД).	ФД контролює положення допоміжної лінії, яка наноситься паралельно стику, на відстані від нього та вносіться в сторону від зварювальної головки.	Простота конструкції	Низька точність та перешкодостійкість при роботі в умовах сильного світлового випромінювання зони зварювання.
Скануючий по колу ФД у слідуєчих системах.	Центр кола сканування суміщається з центром дії джерела зварювального тепла, при лазерному – оптичної осі сфокусованого пучка. Воно пересікає по черзі то стик, то зварювальний шов й навики, дозволяє обрахувати інтервали часу між пересіченнями стику і кромки шва.	Однозначно характеризується положення центра теплової дії відносно стику.	Низька надійність і перешкодостійкість. Необхідність контрольних ліній для підвищення контрасту. ФД визначає миттєве положення зони зварювання.
Електричний датчик зображення зварювальної ванни (ЕДЗВ).	ЕДЗВ розміщений безпосередньо за головою зварювального робота і захищений від прямого випромінювання дуги. Плоский лазерний пучок направляється двома дзеркалами поперек напрямку ходу зварювальної головки під кутом $50^{\circ} \dots 80^{\circ}$ до поверхні металу. Побудова зображень здійснюється камерою із зарядовим зв'язком.	Система збору даних і управління процесом достатньо точна.	Занадто складна апаратурна реалізація (лінзи, оптичний фільтр, комп'ютерний блок збору і обробки даних та інші). Велика вага та габарити, низька надійність вимірювальної апаратури.
Відеосенсорний пристрій (ВСП).	ВСП складається із щільної діафрагми та відбивника. Фотокамера, яка має змінне вікно, об'єкти, інтерференційний фільтр, фотоприймач на основі ПЗС - матриці. Джерелом освітлення є зварювальна дуга. Використання повторного відбиття освітленої смуги одержує інформацію про зварне з'єднання на фотоприймачі.	Аналізується форма побилизу стику і порівнюється з еталоном, що зменшує помилки.	Жорстко задана програма процесу зварювання.
Датчик відбитого лазерного проміння	Датчик відбитого від поверхні зварювальної ванни лазерного проміння Побудований на базі малогабаритного пірометра, і оснащений інтерференційним фільтром лазерного проміння.	Контролює площу поверхні рідкого металу, що зменшує помилки.	Неможливість контролювати кутові шви у важкодоступних місцях.
Зондуючий лазерний датчик	Зондуючий лазерний датчик є напівпровідниковим імпульсним лазером. Просвічує плазмовий факел вздовж поверхні зварного з'єднання і його проміння фіксується фотодіодом.	Визначається густина на пароплазмового каналу, що зменшує помилки.	Громіздкість. Не враховується короблення металу.
Лазерний оптико акустичний дефектоскоп (ЛОАД)	Принцип дії заснований на оптико акустичному ефекті, котрий полягає у збудженні коротких ультразвукових сигналів імпульсним лазерним випромінюванням. Імпульс попадаючи на об'єкт викликає теплове розширення області, що поглинула лазерне випромінювання. Це призводить до того, що виникає акустична напруга, форма якої визначається параметрами лазерного імпульсу і характеристиками середовища, що поглинуло світлову енергію. Вимірювання глибини залягання неоднорідності визначається по часу затримки. Вимірювання розміру неоднорідності визначається по формі і спектру сигналу.	Можливо виміряти: <ul style="list-style-type: none"> глибину залягання неоднорідності; розмір неоднорідності, що зменшує помилки. 	Затрата часу на попереднє дослідження характеристик середовища

Автомодельовання особливо актуальне для вирішення проблемно орієнтованих задач в сучасний період розвитку економіки промисловості, так як забезпечує високі техніко-економічні показники.

Це зберігає топологію ІС, змінюється тільки режим роботи, що значно зменшує витрати на виготовлення нового виробу.

Для підтвердження вищесказаного приведена на рис. 2 знаково-образна модель залежностей критеріїв подібності скануючого пристрою, за наступними параметрами:

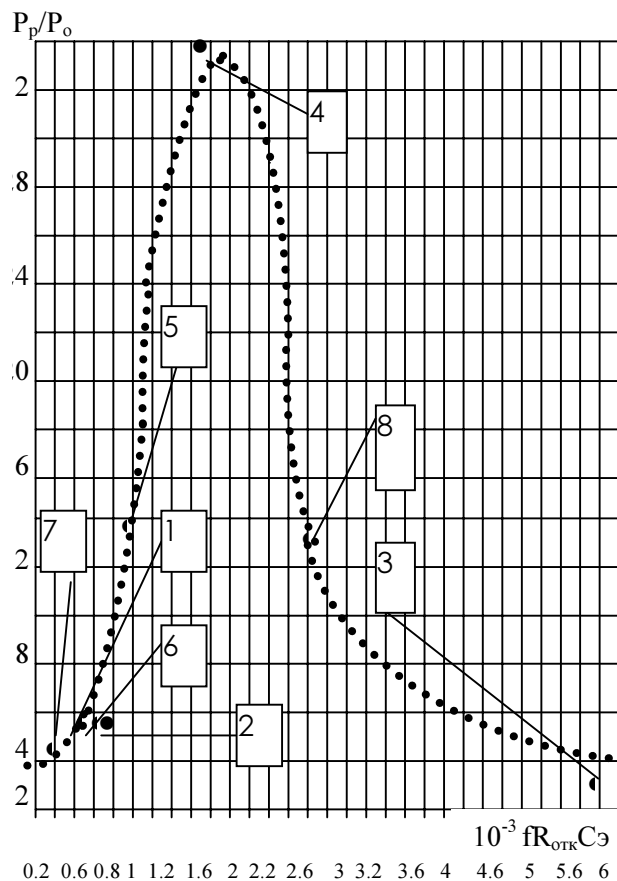
P_p - потужність розсіювання; P_o - потужність споживання;

f - частота перемикання; R - опір відкритого ключа; C – ємність МДП-ключа.

Розрахунок потужності розсіювання проводився за емпіричною формулою

$$P_p = (150 - t^0 C) / 0,23.$$

Візуалізація залежності в безрозмірних координатах (P_p/P_o) та (fRC) показала резерв в 3 рази по використанню потужності споживання, що також підтверджує високу надійність пристрою [12, 13].



- 1 - DG506; 2 - AV6-4016;
3 - K1104KH1; 4 - Б1110KH1-2;
5 - 733KH1-2; 6 - K591KH3;
7 - K590KH6; 8 - H1506A-2

Рисунок 2 – Залежність технічних параметрів в безрозмірних координатах

З рисунка 2 видно, що $P_p/P_o \approx 30$ разів. Це підтверджує відсутність перегріву і забезпечує резерв по співвідношенню потужностей розсіювання та споживання в скануючому пристрої.

На рис. 3 представлено зовнішній вигляд мікрозбірки ПЗС-лінійки з вбудованими скануючим пристроєм та передпідсилювачем.

Зображений зовнішній вигляд мікрозбірки підтверджує, що надійність мікрозбірки збільшується на три–чотири порядки завдяки інтегральній технології та герметичності [10, 11].

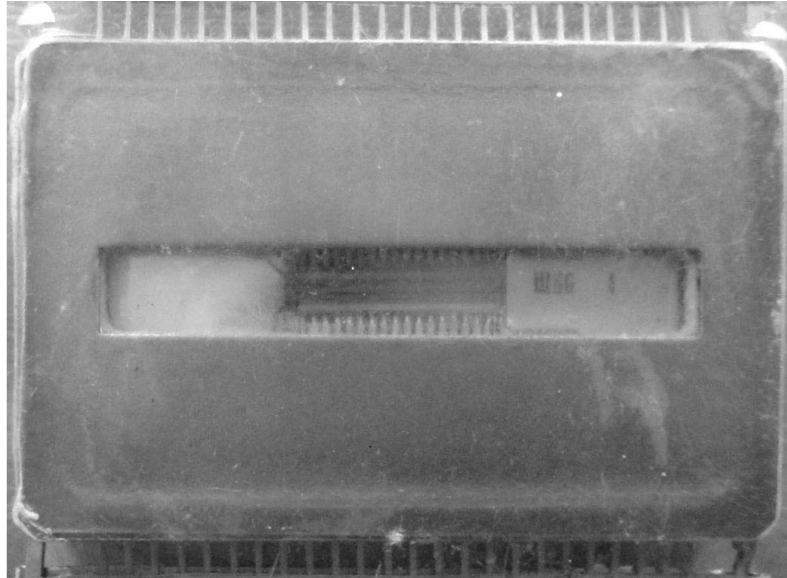


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд мікрозбірки ПЗС-лінійки, скануючого пристрою та передпідсилювача

Висновки

1. Проведено системний аналіз існуючих датчиків, які широко використовуються при автоматизації процесу зварювання металоконструкцій.

2. Зведені в таблицю типи сучасних датчиків, їх принципи дії й методи вимірювання відхилення стику від заданої траєкторії, переваги та недоліки, що дозволяють:

- швидко порівняти і визначити найкращі для заданих умов процесу зварювання.
- бачити, на основі синтезу, перспективи розвитку датчиків положення стику зварювальних деталей при проектуванні лазерних технологічних комплексів у складі яких вони використовуються.

3. На підставі системного аналізу існуючих датчиків встановлено:

- найкращими слідкуючими датчиками є безконтактні, робота яких заснована на оптичних принципах;
- високу надійність та експлуатаційну технологічність забезпечують датчики на основі ПЗС-матриць, ПЗС-лінійок.

4. Запропоновані високонадійні (на базі ІС Б1110КН1-2) багатоканальний скануючий пристрій та передпідсилювач (виконані в єдиному кристалі), що забезпечують зчитування та передачу інформації з ПЗС-матриці або ПЗС-лінійки для подальшої обробки її у підсистемах керування в ЛТК.

5. Виявлено резерв, що складає понад 30 разів по співвідношенню потужностей розсіювання та споживання в скануючому пристрої. Це підтверджує відсутність перегріву в процесі роботи пристрою, що також сприяє підвищенню його надійності.

Подальші дослідження планується проводити в напрямку визначення кількісної оцінки точності вибраних сучасних датчиків, положення стику зварювальних деталей

для удосконалення існуючих ЛТК. Зокрема для датчиків, що виконані на основі ПЗС-матриць, планується провести дослідження щодо підвищення гнучкості системи завдяки використанню принципів розпізнавання образів.

Список літератури

1. Майзель М.М. Основы автоматизации производственных процессов.- 1964.-580с.
2. Пасковатый О.И. Основы автоматизации производства.- 1991.- 144 с.
3. www.expert.ru, Валерий Райский. Цикл статей «Системы слежения при автоматической сварке».- Часть I,II,IV,V
4. Раннев Г.Г. Информационно-измерительная техника и технологии.- 2002.- 456 с.
5. Гладков Э. А. Управление процессами и оборудованием при сварке. — М.: «ИЦ Академия».- 2006.
6. Аш Ж. Датчики измерительных систем / пер. с франц. под ред. А.С. Обухова. — М.: Мир. — Кн. 2. 1992. — 460 с.
7. Аш Ж. Датчики измерительных систем / пер. с франц. под ред. А.С. Обухова. — М.: Мир. — Кн. 1. 1992. — 480 с.
8. Окоси Т. и др. Волоконно-оптические датчики / под ред. Т. Окоси: Пер. с япон. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. — 256 с.
9. Тимченко А.А. Системні дослідження в науці та техніці. — Вісник ЧДТУ. - Ч.1. -2006, - 40 с.
10. Пащора И.В., Корнейчук В.И., Довбыш Л.В. Надежность электронных систем . — СВІТ, Киев — 1997. — 97 с.
11. Лукашенко В.М. К вопросу повышения качества многоэлементных фотоемкостных приемников // Радиоэлектроника и информатика. - 1999. - №3. - С. 12-13.
12. Лукашенко В.М., Лукашенко А.Г. Устройство для коммутации каналов с произвольной выборкой // Труды XXXIII Науч.-практ. конф. Посвященная Дню радио «Радиотехника». Новосибирск: НТОРЭС им. А.С. Попова. - 1990. — С. 61- 62.
13. Лукашенко В.М. Multielement Solidstate Receivers of Radiation // International Conference on Optoelectronic Information Technologies "PHOTONICS-ODS 2000". Ukraine, Vinnytsia: VSTU. - 2000. - P.25.

Процесс сварки является наиболее распространенным процессом для соединения металлоконструкций. Перспективной является лазерная сварка. Автоматизация сварочных процессов предусматривает использование надежных и высокоточных датчиков взаимного размещения сварочной головки и заданного свариваемого стыка. Проводится системный анализ параметров современных датчиков положения стыка деталей в лазерных технологических комплексах. Рассмотрены их основные особенности принципов построения. Для последующего их совершенствования и внедрения акцентировано внимание на недостатки и преимущества.

A welding process is the most widespread process for connection of metal. Perspective is the laser welding. Automation of welding processes foresees the use of reliable and high-fidelity sensors of the mutual placing of welding head and set weldable joint. The analysis of the systems of parameters of modern sensors of position of joint of details is conducted in laser technological complexes. Their basic features of principles of construction are considered. For subsequent their perfections and introductions are accented attention on failings and advantages.